



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA E DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Luana Ramos Passos Ribeiro

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

ABRIL/2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA E DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Luana Ramos Passos Ribeiro

ORIENTADORA: ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO

CO-ORIENTADOR: CICERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 116/2016

BRASÍLIA/DF



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITOS DE PLANTAS DE COBERTURA E DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Luana Ramos Passos Ribeiro

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

ARMINDA MOREIRA DE CARVALHO (Orientadora)
Pesquisadora Doutora/Embrapa Cerrados/CPF: 409.440.341-87/
e-mail: Arminda.carvalho@embrapa.br

ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA (Examinador interno)
Professora Doutora/Universidade de Brasília/CPF: 820.032.201-78/
e-mail: ampaula21@gmail.com

KLEBERSON WORSLEY DE SOUZA (Examinador externo)
Pesquisador Doutor/Embrapa Cerrados/CPF: 594.411.512-20/
e-mail: kleberson.souza@embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 29 de abril de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ribeiro, Luana Ramos Passos

Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho/Luana Ramos Passos Ribeiro; orientação de Arminda Moreira de Carvalho. – Brasília, 2016.

53 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

1. Milho. 2. Adubo verde 3. Nitrogênio. 4. Carbono do solo. I. Carvalho, A.M.de II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, L. R. P. **Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 53 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: LUANA RAMOS PASSOS RIBEIRO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho.

GRAU: MESTRE

ANO:2016

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

LUANA RAMOS PASSOS RIBEIRO

CPF: 006.698.821-78

Endereço. Rua Alexandre Salgado quadra 20 casa 8ª Setor Tradicional/ CEP: 7330-066 Planaltina, DF. Brasil

Tel. 3388-8994/8145-5120

E-mail: luanarpr01@gmail.com

À minha família, em especial a meu filho Pedro.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente em minha vida, me guiando e iluminando para que eu não desviasse do caminho.

À minha família, pela paciência e pelo apoio nesses dois anos. Principalmente aos meus pais, Alfredo Ramos Ribeiro e Ademilde Maria Passos Ribeiro, sem a ajuda deles eu jamais teria conseguido.

Aos meus irmãos Hamilton Ramos Passos Ribeiro e Grazielle Ramos Passos Ribeiro.

Ao meu filho Pedro, tão pequeno e mesmo assim tão compreensivo com minhas ausências.

À minha orientadora Dr^a Arminda Moreira de Carvalho, pelo incentivo, pela paciência e por ser uma das responsáveis por mais esta vitória em minha vida.

Ao meu co-orientador Dr. Cicero Célio de Figueiredo, pela disponibilidade, apoio e tantos ensinamentos que levarei para toda vida.

Aos técnicos dos laboratórios da Embrapa Cerrados, Francisco Bastos, Vilderete Castro Alves e Fernanda Andrade pelo apoio.

A todos os professores da pós-graduação em agronomia, pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos do Laboratório de Matéria Orgânica, Helen Cristina Vieira, Bruna Schneider, Tulio Moreira e todos que me deram suporte para conseguir realizar minhas análises da melhor forma possível.

À Walda Monteiro Farias, amiga que eu ganhei desde o primeiro dia de aula, por me incentivar, escutar e apoiar.

Aos amigos Luciano Gomes Timóteo e Willian Roberson Duarte De Oliveira por estarem sempre disponíveis a me ajudar.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 ADUBAÇÃO VERDE E USO DE PLANTAS DE COBERTURA.....	13
2.1.1.Características das plantas de cobertura: braquiária ruziziensis, sorgo, feijão-bravo-do-ceará e guandu.....	16
2.1.2.Composição da parte aérea das plantas de cobertura quanto a lignina, celulose e hemicelulose	19
2.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: DEFINIÇÃO, IMPORTÂNCIA E INFLUÊNCIA DE PLANTAS DE COBERTURA	20
2.3 EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUÇÃO DE MATERIA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO.....	24
3. HIPÓTESES E OBJETIVO	26
3.1 HIPÓTESES	26
3.2 OBJETIVO	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	27
4.1.1.Histórico da área e o delineamento experimental	28
4.2. COLETAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DA PLANTA.....	29
4.2.1.Amostragem das plantas.....	29
4.2.2.Composição química das plantas de cobertura: hemiceluloses, celulose, lignina e nitrogênio total.....	29
4.3. COLETAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DO SOLO	30
4.3.1. Amostragem do solo.....	30
4.3.2.Determinação do carbono orgânico	30
4.3.3.Fracionamento físico-granulométrico	30
4.3.4.Fracionamento químico de substâncias húmicas.....	31
4.3.5.Oxidação do carbono por permanganato de potássio	31
4.3.6.Carbono da biomassa microbiana.....	32
4.4. DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO	32
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	34

5.1. PRODUÇÃO DE MATERIA SECA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE COBERTURA	34
5.2. EFEITOS DA PRODUÇÃO E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PLANTAS DE COBERTURA NAS FRAÇÕES DE CARBONO DO SOLO.....	37
5.3. RELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PLANTAS DE COBERTURA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	40
 6. CONCLUSÕES	 42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

RESUMO

Aproximadamente 31 milhões de hectares brasileiros são manejados com sistema plantio direto. Diante desse cenário, o uso de plantas de cobertura pode aumentar a capacidade produtiva do solo de forma econômica e sustentável, promovendo melhorias nos seus atributos físicos, químicos e biológicos. A diversidade de espécies vegetais associada à sucessão, rotação e consórcio de cultivos, e ainda, quando no sistema plantio direto, condicionam o manejo eficiente e sustentável do solo, propiciando condições mais favoráveis para o estoque de carbono e nitrogênio nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas. A matéria orgânica do solo (MOS) está entre os indicadores de qualidade do solo que têm a maior relevância devido à sua importância na formação e manutenção das funções do solo, especialmente em solos altamente intemperizados, como os Latossolos. Nesse sentido, destaca-se a importância da compreensão das relações entre a composição química de plantas de cobertura e o acúmulo de frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo sob sistema plantio direto. Avaliar o efeito da composição química de diferentes plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, com sucessão de plantas de cobertura e milho no sistema plantio direto, que foi implantada em área anteriormente em pousio. As amostras do solo foram coletadas nas profundidades 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, obtendo-se uma amostra composta formada por cinco sub amostras em cada sub parcela e profundidade. A composição química das plantas de cobertura em relação à hemiceluloses, celulose, lignina foi realizada pelo método sequencial e ao nitrogênio pelo método Kjeldahl. O carbono orgânico (CO) foi determinado por oxidação via úmida. Também foram realizados o fracionamento físico-granulométrico da matéria orgânica e o fracionamento químico de substâncias húmicas, além do teor de carbono lábil (CL) e a determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM). Os resultados obtidos mostraram que os teores elevados de nitrogênio associados com a elevada produção da matéria seca, maior concentração de hemiceluloses e menor teor de lignina resultam em qualidade da matéria orgânica do solo com uso de feijão-bravo-do-ceará, representado pelo acúmulo de ácido húmico (AH), relação ácido húmico/ ácido fúlvico (AH/AF) e carbono lábil (CL). *Braquiária ruziziensis* promove acúmulo de carbono orgânico (CO) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM) no solo.

Palavras-chave: Milho, adubo verde, nitrogênio, carbono do solo.

ABSTRACT

In Brazil, approximately 31 million of hectares are managed with no-tillage system. In this scenario, the use of cover crops can increase the soils productivity and promote improvements in their physical, chemical and biological attributes. The diversity of plant species associated with succession, rotation and consortium of crops, and even when the tillage system affect the efficient and sustainable land management, providing more favorable conditions for the stock of carbon and nitrogen in the upper layers, and the over adoption time in its deeper layers. Soil organic matter (SOM) is among the soil quality indicators that have the most relevance because of its importance in the formation and maintenance of soil functions, especially in highly weathered soils, such as Oxisols. In this sense, it highlights the importance of understanding the relationship between the chemical composition of cover crops and the accumulation of labile and stable fractions of soil organic matter under no-tillage system. The experiment was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, succession plant cover / corn under no-tillage system was deployed in the area that previously was in fallow. Soil samples were collected at depths from 0.0 to 0.10 m and 0.10-0.20 m, thus obtaining a composite sample formed of five sub samples in each sub portion and depth. The chemical composition of cover crops in relation to hemicellulose, cellulose, lignin was performed with the serial method and nitrogen by the Kjeldahl method, and organic carbon (OC) was determined by oxidation. The physical granulometry organic matter fractionation, the chemical fractionation of humic substances, labile C content (LC) and microbial biomass carbon (MBC) were also performed. The results showed that high levels of nitrogen associated with increased production of dry matter higher concentration of hemicellulose and lower lignin content resulting in quality of soil organic matter with the use of feijão-bravo-do-ceará represented by accumulation of humic acid (HA), higher humic / fulvic acid (HA/FA) and labile carbon (LC). *Braquiaria ruziziensis* promotes higher soil organic carbon (OC) stock and organic carbon associated with minerals (COAM).

Keywords: corn, green manure, nitrogen, soil carbon.

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 71 milhões de hectares brasileiros estão sob cultivos agrícolas, desse total, mais de 31 milhões de hectares são manejados com sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2012). Uma das premissas básicas para garantir a qualidade desse sistema e atestá-lo como ferramenta da “Conservação do Solo e da Agricultura Conservacionista” é a adequada produção de resíduos vegetais, favorecendo o acúmulo de palhada na superfície do solo e a ciclagem mais eficaz de nutrientes (Sá et al., 2009; Denardin et al., 2010).

Diante desse cenário, o uso de plantas de cobertura pode aumentar a capacidade produtiva do solo de forma econômica e sustentável, promovendo melhorias nos seus atributos físicos, químicos e biológicos. Contribui para ciclagem mais eficiente de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio (FBN), melhoria da qualidade da matéria orgânica e proteção do solo, atuando no controle de erosão, infestação de plantas invasoras e controle de nematóides (Dabney et al., 2001; Snap et al., 2005; Carvalho & Amabile, 2006; Wutke et al., 2009; Wutke et al., 2014; Carvalho et al., 2014).

A diversidade de espécies vegetais associada à sucessão, rotação e consórcio de cultivos, e ainda, quando no sistema plantio direto, condicionam o manejo eficiente e sustentável do solo, propiciando condições mais favoráveis para o estoque de carbono e nitrogênio nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas. A inclusão de leguminosas como adubo verde fornece o nitrogênio utilizado preferencialmente pelos microrganismos sintetizadores das frações mais estáveis da matéria orgânica do solo (MOS), ou seja, as huminas (Ribeiro, et al., 2011; Santos et al., 2014).

O material vegetal depositado no solo passa a fazer parte de sua matriz, constituindo a matéria orgânica do solo. Esses resíduos vegetais apresentam natureza variada e complexa. São constituídos por celulose, hemiceluloses, lignina, proteínas e substâncias solúveis, além de outros constituintes como: ceras, graxas e pigmentos. Esses componentes sofrem alterações diferenciadas no solo, sendo que alguns são degradados rapidamente (celulose e hemicelulose), outros devido a recalcitrância degradam-se lentamente como a lignina (Moreira & Siqueira, 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) está entre os indicadores de qualidade do solo que têm a maior relevância devido à sua importância na formação e manutenção das funções do solo, especialmente, em solos altamente intemperizados, como os Latossolos. É um fato bem

conhecido que nestes ambientes a fertilidade do solo depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade da MOS. A MOS do solo é também relevante no contexto das mudanças climáticas globais, já que o solo é o maior reservatório de carbono, na superfície terrestre (Moreira & Siqueira, 2006; Alves et al., 2006; Primo et al., 2011). Diante disso, os sistemas de manejo do solo devem ter como objetivo, além da produção primária de qualidade, o aumento da MOS (Salton et al., 2005).

O uso de plantas de cobertura, sejam gramíneas ou leguminosas, em sistema plantio direto é uma eficiente prática para a manutenção e ciclagem de nutrientes no solo. As plantas de cobertura devem ser recomendadas para associação com as culturas, principalmente, pelo potencial de adição de N, sendo, também, importantes para o sequestro de C no solo (Sisti et al., 2004).

A indicação de plantas de cobertura associada a sistemas de rotação e de sucessão de culturas para uso em sistema plantio direto no Cerrado é uma estratégia para acúmulo de palhada na superfície do solo, conseqüentemente, incremento e melhoria de qualidade da MOS (Carvalho et al., 2014; Wutke et al., 2014; Santos et al., 2014). Entretanto, as condições climáticas nessa região aceleram a decomposição dos resíduos vegetais com conseqüente redução do acúmulo de MOS. Entre os diversos fatores que controlam a decomposição de resíduos vegetais no solo, a produção e a composição do tecido vegetal exercem forte influência na formação e permanência da cobertura do solo. As concentrações de nitrogênio e de compostos orgânicos tais como lignina, hemiceluloses e celulose regulam a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e afetam a dinâmica das frações e o acúmulo da matéria orgânica do solo (Carvalho et al., 2011; 2012; Santos, et al., 2014; Carvalho et al., 2015).

A deposição de resíduos vegetais ao longo dos anos favorece o aumento na concentração de ácido húmico (AH), que, juntamente com a precipitação anual alta, concentrada nos meses mais quentes, intensifica a biodegradação das frações da MOS instáveis, com a transformação mais rápida de ácido fúlvico (AF) para AH, principalmente, em plantas de cobertura com menor teor de lignina (Santos et al. 2014).

Nesse sentido, destaca-se a importância da compreensão das relações entre a composição química de plantas de cobertura e o acúmulo de frações lábeis e estáveis da matéria orgânica e do carbono total do solo em sistema plantio direto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ADUBAÇÃO VERDE E USO DE PLANTAS DE COBERTURA

A introdução de plantas de cobertura em um sistema de cultivo começa com a seleção das espécies vegetais de cobertura adequadas, que depende do ambiente, do sistema de cultivo, e das preferências do agricultor (Lemessa & Wakjira, 2015). Ao escolher uma planta de cobertura é importante conhecer sua adaptação para a região e habilidade para crescer em ambiente menos favorável. Deve-se levar em consideração a produtividade de fitomassa, disponibilidade de sementes, as condições do solo, rusticidade quanto à tolerância ao déficit hídrico, a possibilidade de sua utilização comercial e o potencial destas plantas como hospedeiras de pragas e doenças (Alvarenga et al., 2001; Borges et al., 2015).

As plantas de cobertura não representam um produto comercial, mas têm muitos benefícios, incluindo a matéria orgânica do solo (Kaufman et al., 2013). Essas espécies vegetais desempenham papel fundamental na melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Nakhone & Tabatabai, 2008; Sarrantonio & Gallandt, 2003) e melhora a estabilidade de agregados e a estrutura do solo (Liu et al, 2005; Power, 2010). A cobertura vegetal fornecida pelas plantas de cobertura também reduz o escoamento de água, erosão do solo, diminui a lixiviação de nitrato e, melhora a produtividade do solo (Meyer et al., 1999; Hartwig & Amon, 2002; Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Kaufman et al., 2013).

A diversificação dos sistemas com plantas de cobertura contribui para a qualidade do solo, com o aumento da biomassa microbiana, maior atividade biológica, armazenamento de água, sequestro de carbono e fornecimento de nutrientes para as plantas (Frasier et al., 2016). O sequestro de C combinado com a grande extensão de áreas de cultivo permite inferir que é uma medida sustentável e eficiente para mitigar mudanças climáticas. Além disso, plantas de cobertura podem contribuir para a redução da lixiviação de nutrientes, controle de erosão hídrica e de pragas, o que torna esta prática ambientalmente benéfica e a longo prazo, economicamente viável (Poeplau & Don, 2015).

Adubação verde consiste no cultivo e corte de plantas em plena floração, produzidas ou não no local, com ou sem incorporação da fitomassa, com a finalidade precípua de aumento, preservação e/ou restauração da fertilidade do solo e da produtividade das culturas (Carvalho & Amabile, 2006; Carvalho et al., 2014; Wutke, et al., 2014).

Quando as plantas são incorporadas no solo atuam como condicionadores físicos, químicos e biológicos, podendo ser denominadas de adubos verdes. Se permanecerem na superfície, como no sistema plantio direto são denominadas de plantas de cobertura e também exercem funções de condicionadores de solo. Porém, nesse caso necessitam de um período mais longo para que seus efeitos sejam estabelecidos, principalmente, ao longo do perfil do solo (Amabile & Carvalho, 2006; Calegari, 2014; Carvalho et al., 2014). A adubação verde propicia também a preservação e conservação dos recursos naturais e da biodiversidade (Ambrosano, et al., 2014).

Os adubos verdes atuam na agregação do solo resultando numa série de benefícios por meio do crescimento das plantas e desenvolvimento do sistema radicular, além da adição de matéria orgânica ao solo que favorece o desenvolvimento de microrganismos, promovendo a ação cimentante (Ambrosano, et al., 2014).

Além de protegerem o solo dos agentes climáticos e de degradação, as plantas de cobertura, apresentam potencial para manter ou elevar o teor de matéria orgânica, mobilizar e reciclar nutrientes, e ainda de contribuem para o sequestro de carbono no solo (Silva et al., 2011; Silva et al., 2014). Esses impactos positivos resultam do aporte de biomassa, tanto em quantidade quanto em qualidade (Amabile & Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2011; 2012; 2015).

A produção de matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura depende da espécie vegetal, de atributos do solo e do clima local, ou seja, das condições edafoclimáticas, e, também, da época de cultivo, idade de corte e sensibilidade ao fotoperíodo (Silva et al., 2011). A composição química dos resíduos vegetais, como razão carbono/nitrogênio (C/N), lignina/nitrogênio (lig/N), teores de lignina, celulose e hemiceluloses associadas às condições edafoclimáticas alteram a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, refletindo na disponibilidade de nutrientes do solo (Aita & Giacomini, 2003; Carvalho et al., 2008; 2009; 2011; 2012; 2015).

As plantas leguminosas e gramíneas têm comportamentos distintos em sistemas agrícolas. O cultivo de leguminosas em sucessão ao milho proporciona maior quantidade de nitrogênio (N) à cultura, além de aproveitamento mais eficiente do N do fertilizante nitrogenado e maior produtividade de grãos, seja por meio da fixação biológica ou pela ciclagem do N das camadas subsuperficiais com a incorporação de biomassa (Aita & Giacomini, 2003; Silva et al., 2006; Albuquerque et al., 2013).

As gramíneas, por outro lado, são caracterizadas por uma elevada razão C/N dos seus resíduos vegetais e maior tempo de permanência na superfície do solo, como resultado de baixa taxa de decomposição. Desta forma, há uma quantidade menor de liberação de nutrientes, especialmente N (Borkert et al., 2003). Algumas espécies como braquiária *ruziziensis* e milho cultivados em sistema plantio direto proporcionam incrementos no rendimento da cultura de soja devido à alta produção de biomassa aérea e radicular e aumento da disponibilidade de P e demais nutrientes no solo (Veronese et al. 2012).

A permanência dos resíduos vegetais vai depender das suas características, principalmente, quanto à razão C/N e lignina/N, além do grau de degradabilidade do C que dependerá da composição por exemplo em relação à açúcares, celulose e lignina (Silva et al., 2014). Plantas que possuem baixa razão C/N tendem a se decompor mais rapidamente, deixando o solo desprotegido e facilitando a mineralização de N e demais nutrientes (Carvalho et al., 2008; Silva et al., 2014; Moreira et al., 2014; Carvalho et al., 2015). Porém, a qualidade desse carbono, como a presença de C dos grupos de aromáticos, alquilas e *O* alquilas, ou de cadeias mais lignificada, celulósica e hemicelulósicas são também fatores determinantes no processo de decomposição dos resíduos vegetais (Carvalho et al., 2009, 2011, 2012, 2014). Nesse contexto, é também importante definir que parte da planta está sendo avaliada, ou seja, se são folhas, talos, raízes ou grãos (Carvalho et al., 2014; 2015).

Os resíduos vegetais e animais ao serem depositados no solo e havendo condições de umidade iniciam o processo de decomposição, resultado da ação de inúmeros grupos de microrganismos. Durante a fase de crescimento das plantas e de decomposição dos resíduos vegetais são liberados ácidos orgânicos por meio dos exsudatos radiculares, sendo que alguns desses ácidos atuam na disponibilização de nutrientes às plantas (Silva et al., 2014). E também ocorre liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis que são ácidos orgânicos de baixa massa molecular (Franchini et al., 2001). Esses compostos possuem radicais funcionais capazes de formar complexos orgânicos com o alumínio, cálcio e magnésio (Pearson, 1966). Assim, além de neutralizar o alumínio tóxico, aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície (Amaral et al., 2004).

Landoni et al. (2016) observaram que áreas de cultivo convencional tendem a ter menor teor de carbono orgânico particulado (COP) em comparação com áreas com culturas de cobertura, o que indica uma perda gradual de C e, que possivelmente, resulta em maior erosão do solo. A magnitude dos efeitos de plantas de cobertura sobre o C facilmente mineralizável e

o COP varia com a mudança da topografia. Em áreas de depressão observaram-se maiores quantidades de biomassa das culturas de cobertura e redução na perda de C por erosão.

O uso de diferentes espécies de plantas de cobertura tem potencial distinto de acúmulo de nutrientes. Assim, área com vegetação espontânea apresenta menor acúmulo de nutrientes na palhada comparada às outras espécies de plantas de cobertura, como por ex. feijão-bravo-do-ceará. Nesse caso, destaca-se a sua importância na ciclagem de nutrientes, principalmente N, que conseqüentemente, poderão ser absorvidos pelas plantas associadas, seja em sucessão, rotação ou em consórcio (Carvalho et al., 2006; Silva et al., 2014).

Espécies vegetais como braquiária brizantha e feijão-bravo-do-ceará apresentam potencial para serem utilizadas como cobertura do solo devido à alta produção de biomassa e consequente incorporação de N, P, e Ca (Teixeira et al., 2014). A produção de biomassa, tanto em quantidade quanto em qualidade, afeta a ação da microbiota do solo (Andreola & Fernandes, 2007). Estudos desenvolvidos no Cerrado mostraram que plantas de cobertura com menores teores de lignina e, conseqüentemente, com maiores taxas de decomposição de resíduos vegetais como feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) e braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) resultaram em maior produtividade de milho em sucessão (Carvalho et al., 2008; 2009; 2011; 2012; 2014).

2.1.1. Características das plantas de cobertura: braquiária ruziziensis, sorgo, feijão-bravo-do-ceará e guandu

Braquiária ruziziensis: *Urochloa ruziziensis* syn.: (*Poaceae*)

O cultivo de gramíneas perenes, p. ex. braquiária, em consorciação com culturas anuais, como o milho, pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo e favorecer a estabilidade dos agregados do solo. A braquiária é uma espécie cujo desenvolvimento de parte aérea permite a cobertura total do solo, protegendo-o do efeito erosivo do impacto direto das gotas de chuva e, dessa forma, minimizando o selamento superficial. O seu sistema radicular fasciculado forma uma malha que retém as partículas de solo e evita assim sua perda por erosão, permitindo sua conservação ao longo dos cultivos (Barber & Navarro, 1994; Santos et. Al., 2014).

As espécies de braquiária se destacam pela adaptação aos solos de baixa fertilidade, facilidade de estabelecimento e considerável produção de biomassa e incorporam C, K, e Mg

no solo, proporcionando excelente cobertura vegetal do solo. Os resíduos vegetais desta planta fornecem cobertura adequada do solo, contribuindo assim para ciclagem de nutrientes (Cobucci et al., 2007; Teixeira et al., 2014). Em pesquisa realizada por Rossi et al. (2012), a introdução de braquiária *ruziziensis* no sistema de cultivo da soja em plantio direto mostrou efeito positivo e favoreceu o acúmulo de carbono orgânico no solo.

Ferreira & Lamas (2015) observaram que braquiária *ruziziensis* produziu adequada quantidade de biomassa seca para semeadura direta e que essa biomassa seca apresenta boa persistência e propicia boa cobertura do solo ao longo do ciclo do algodoeiro, dificultando a infestação de plantas daninhas até a época de semeadura do algodão. A rotação de culturas com braquiária *ruziziensis* é eficiente também na redução da população do nematoide no solo (Asmus & Richetti 2016). De acordo com estudos realizados por Costa et al. (2014) a infestação de plantas daninhas foi reduzida nas áreas com braquiária *ruziziensis* em consórcio com a soja em relação às áreas em pousio.

A espécies braquiária *brizantha* e *ruziziensis* são boas alternativas para produção de palhada por apresentarem elevada produtividade de massa seca em cultivo antecedendo à cultura do milho no sistema plantio direto. Braquiária *ruziziensis* é eficiente em acumular N e K (Costa et al., 2014).

Feijão-bravo-do-ceará: *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth (Fabaceae)

O feijão-bravo-do-ceará é uma leguminosa anual ou bianual e destaca-se para o cultivo na entressafra no Cerrado pela sua elevada resistência a seca (Carvalho, 2008). É uma planta herbácea com grande potencial de produção de biomassa e rusticidade durante o período de baixa disponibilidade hídrica, devido ao seu sistema radicular agressivo, favorecendo a absorção de água e nutrientes em profundidade no solo (Sodré-Filho et al., 2004; Camargos et al., 2013; Wutke, et al., 2014).

Pode ser cultivado em qualquer época, desde que se tenha umidade suficiente no solo para sua germinação e permanece verde o ano todo. Apesar de o crescimento inicial ser relativamente lento, o feijão-bravo-do-ceará é uma planta que, por sua resistência à seca, possui intensa capacidade de ramificação e rebrotação, apresentando rusticidade suficiente para ser semeada no final do período chuvoso, no Cerrado do Distrito Federal (Burle et al., 2006). Favero et al. (2000) observaram que em sistemas em que a leguminosa introduzida foi o feijão-bravo-do-ceará a produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes foram mais elevados do que feijão-de-porco, mucuna-preta, lab-lab e guandu.

Guandu: *Cajanus cajan* (L.) Millsp (Fabaceae)

O guandu é uma planta semiperene e bem adaptada às condições de clima tropical (Bonfim-Silva et al., 2014), tem grande potencial e multiplicidade de uso em diferentes regiões brasileiras como planta para proteção, recuperação e fornecimento de nutrientes em áreas degradadas. Desenvolve-se muito bem em solos de baixa fertilidade, de textura argilosa ou arenosa, apresentando potencial de produção de fitomassa (Wutke, et al., 2014). Possui forte e vigoroso sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e aprofundar no perfil (Calegari, 2006).

A produção de biomassa e o fornecimento de nutrientes do feijão guandu mostram que esta leguminosa possui potencial para adubação verde em áreas de reflorestamento. Outro aspecto positivo do guandu é o efeito supressor sobre a vegetação espontânea em áreas de reflorestamento. O uso desta leguminosa é uma alternativa agroecológica viável para o controle de plantas espontâneas e para a manutenção da fertilidade do solo (Rayol & Rayol, 2012).

O feijão guandu possui um enorme potencial para múltiplas funções nos sistemas de produção agrícola, além de gerar produtos de elevado valor biológico para melhoria do meio ambiente em geral (Azevedo et al., 2007).

Sorgo: *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Poaceae)

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo. O sorgo é tolerante a condições de calor e seca e comumente cultivada em condições de sequeiro em regiões semi-áridas (Kaufman et al., 2013). O sorgo é cultivado em áreas e situações ambientais muito secas e/ou muito quentes, onde a produtividade de outros cereais é anti-econômica. No Brasil Central, a semeadura é feita em sucessão às culturas de verão, principalmente, à soja. No Nordeste, a cultura é semeada nas estações de chuvas ou de “inverno”. Tem sido observado o plantio de sorgo sob irrigação suplementar tanto no Nordeste como no Centro-Oeste (Ribas, 2003).

É uma planta rústica, de crescimento rápido, tolerante a longos períodos de seca e com elevada produção de fitomassa de decomposição mais lenta devido à elevada razão C/N (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015). Como é sensível ao fotoperíodo o desenvolvimento da planta é reduzido nas semeaduras tardias, e como consequência produz menores quantidades de fitomassa (Wutke, et al., 2014). Conforme observado por Braz et al. (2006), as maiores

produtividades do trigo em resposta à adubação nitrogenada são obtidas quando o mesmo é cultivado em sucessão às gramíneas sorgo e braquiária.

2.1.2. Composição da parte aérea das plantas de cobertura quanto a lignina, celulose e hemiceluloses.

Lignina

A lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa associada à celulose na parede celular cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. Ela é geralmente mais resistente à decomposição biológica que os outros biopolímeros de resíduos de planta, por causa de sua estrutura química. O teor de lignina em plantas jovens é menor que 5%, enquanto plantas maduras podem conter até 15% (Wagner & Wolf, 1999; Moreira & Siqueira, 2006).

A importância da lignina se deve também ao fato de que este é o biopolímero mais abundante na biosfera, sendo recalcitrante devido ao seu alto peso molecular e estrutura química tridimensional que lhe confere alta estabilidade (Moreira & Siqueira, 2006).

O tecido vegetal é composto principalmente por lignina, celulose e hemiceluloses, sendo que a lignina constitui até 85% da biomassa seca de espécies arbóreas (Canellas & Santos, 2005). E no solo, a lignina é um composto que ocupa posição central na formação do húmus (Whetten & Sederoff, 1995).

O teor de lignina nos resíduos vegetais está diretamente relacionado com a velocidade de sua decomposição. Sua mineralização depende de fatores ambientais e de características da planta, como: temperatura, disponibilidade hídrica e de oxigênio, composição química da palhada, especialmente da razão C/N, dos teores de lignina, celulose, hemiceluloses e polifenóis (Herman et al., 1977; Kwong et al., 1987; Siqueira & Franco, 1988).

Concentrações elevadas dessa macromolécula reduzem o processo de decomposição dos resíduos vegetais, sendo favorável à manutenção de cobertura do solo. Por outro lado, menores concentrações de lignina resultam em decomposição mais acelerada de resíduos vegetais, ciclagem eficiente de nutrientes e maior produtividade de milho, que é uma cultura bastante favorecida pela liberação de nutrientes, principalmente o nitrogênio (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015).

Celulose

A celulose é o polissacarídeo de maior ocorrência natural, representando grande parte do CO₂ fixado pelas plantas e é solúvel em água (Moreira & Siqueira, 2006). Celulose é um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina. Pode ser caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glucose. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (Klock et al., 2005).

A maior quantidade de carbono nos resíduos vegetais está na forma de carboidratos, tal como os polissacarídeos estruturais. O teor de celulose em plantas, geralmente, aumenta com o amadurecimento, podendo ser menor que 15% do peso seco para plantas jovens. Na degradação da celulose, as reações disponibilizam o carbono para o crescimento de microrganismos (Deng & Tabatai, 1994).

Hemiceluloses

A hemicelulose é o segundo maior componente dos vegetais e consiste de polímeros contendo hexoses, pentoses e ácidos urônicos. Constituem um grupo diverso de polissacarídeos estruturais que compreendem mais de 30% da massa seca dos resíduos das plantas. Sua decomposição é geralmente rápida e excede a taxa de decomposição da celulose e lignina (Wagner & Wolf, 1999; Moreira & Siqueira, 2006).

São polissacarídeos em menor grau de polimerização que a celulose, seu peso molecular varia entre 25.000 a 35.000. Estão associadas à celulose e à lignina nos tecidos vegetais, em estreita associação com a celulose na parede celular. Cinco açúcares neutros, as hexoses (glucoses, manose e galactose) e as pentoses (xilose e arabinose) são os principais constituintes das hemiceluloses. Suas cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos (Klock et al., 2005).

2.2. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: DEFINIÇÃO, IMPORTÂNCIA E INFLUÊNCIA DE PLANTAS DE COBERTURA

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um papel importante na manutenção da produtividade dos solos tropicais, pois fornece energia e substratos, além de

promover a diversidade biológica que ajuda a manter a qualidade do solo e a funcionalidade dos ecossistemas (Wendling et al., 2010).

A MOS compreende compostos orgânicos presentes em componentes vivos e não-vivos do solo (Primo et al., 2011). Os vivos são as raízes de plantas e os organismos do solo, constituindo aproximadamente 1 a 4 % do C orgânico total do solo e mais de 5 % do N total do solo (Jenkinson & Polwison, 1976; Primo et al., 2011). É todo material orgânico depositado no solo na forma de resíduos vegetais, fração leve, biomassa microbiana, meso e macrofauna, substâncias orgânicas solúveis e matéria orgânica estabilizada (substâncias húmicas), associada ou não à fração mineral. Estes compartimentos da matéria orgânica apresentam uma susceptibilidade diferenciada à decomposição microbiana e representam a base para o entendimento da dinâmica do carbono orgânico do solo (Baldock & Nelson, 2000).

A MOS é composta, principalmente, por carbono orgânico que compreende, em média, 58% da matéria orgânica total. O carbono orgânico é resultado, principalmente, do aporte de biomassa vegetal, constituintes solúveis das plantas, exsudados de raízes e da transformação desses pela ação dos microrganismos do solo. A MOS exerce papel fundamental na qualidade do solo, o que a torna de grande importância para a sustentabilidade de sistemas produtivos (Silva & Mendonça, 2007).

As funções da MOS são abrangentes, atuando tanto na melhoria das condições físicas, como na aeração, na retenção e armazenamento de água, quanto nas propriedades químicas e físico-químicas, além do fornecimento de nutrientes às plantas e maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC). A MOS proporciona também um ambiente mais adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota do solo (Figueiredo et al., 2008). Exerce efeito nas propriedades químicas do solo além de ser fonte de C, N, P e S para o crescimento das plantas, ter grande capacidade de troca catiônica (CTC) e capacidade de complexação de elementos tóxicos e micronutrientes. Em solos do Cerrado a contribuição da MOS na CTC deve-se ao predomínio de argilas de baixa atividade, composta basicamente por caulinita, gibsitita e óxidos de ferro e alumínio (Adámoli et al., 1987).

Os resíduos vegetais das plantas de cobertura, acrescentada a palhada das culturas comerciais, pode resultar num ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, o que contribui para a recuperação e/ou manutenção da qualidade do solo (Alvarenga et al., 2001). A introdução de plantas de cobertura com rusticidade, tolerância a estresses ambientais e elevada

capacidade de produção de biomassa, propicia a manutenção de resíduos vegetais, além de diminuir a amplitude térmica e conservar a umidade do solo (Brancalião et al., 2008).

A MOS é formada por diversas frações com tempos de residência variando desde semanas (como a biomassa microbiana) até milhares de anos (como a fração humina) (Lima et al. 2008). As diferentes frações da MOS apresentam propriedades químicas, físicas e morfológicas diferentes entre si e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica. Os sistemas de manejo ao aportarem diferentes quantidades e frações de carbono no solo, alteram a labilidade da MOS, ou seja, a proporção de MOS lábil em relação à não lábil (Canellas et al., 2003; Rangel & Silva, 2007; Figueiredo et al., 2010; Salton et al., 2011).

Ferreira et al. (2016) em experimento de longa duração observaram que as mudanças no armazenamento de C no solo devido à substituição de cerrado nativo *sensu stricto* por culturas anuais foram restritas à profundidade de 0-0,60 m. Nesse trabalho, a substituição do cerrado *sensu stricto* por plantio direto em rotação soja-milho causou uma diminuição de aproximadamente 11% no estoque de C orgânico. Foi observado também um aumento relativo no armazenamento da matéria orgânica na fração mineral, uma aceleração da mineralização da fração da matéria orgânica maior que 53 μm e uma redução de mais de 30% da biomassa microbiana em sistemas de preparo convencional do solo.

As avaliações da matéria orgânica (MOS) utilizam-se da determinação do carbono orgânico total (COT), no entanto, apenas este atributo traduz pouco da dinâmica geral do C no solo. O sistema plantio direto não apresentou diferença de estoques de COT no solo comparativamente com vegetação nativa, preparo reduzido e convencionais (Figueiredo et al., 2013).

A fração lábil da MOS é constituída por resíduos de plantas em decomposição, formas solúveis em água, macrofauna edáfica e biomassa microbiana. Já os componentes mais estáveis da MOS são resistentes ao ataque microbiano e podem persistir no solo por centenas de anos, seja por sua estrutura molecular recalcitrante ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais no interior dos agregados (Passos et al., 2007; Silva & Mendonça, 2007; Roscoe et al., 2006).

As alterações no estoque de carbono do solo são influenciadas pela fração particulada da MOS, cuja dinâmica é regulada principalmente pela disponibilidade de palha (resíduos vegetais) na superfície do solo (Salton et al., 2005). Nos sistemas agropecuários onde

ocorre um maior aporte de biomassa, o acúmulo de carbono está preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível do que o carbono orgânico total às alterações no manejo do solo (Rossi et al., 2012). As substâncias húmicas podem melhorar a capacidade tampão do solo, aumentar a retenção de umidade e o fornecimento de micronutrientes disponíveis. Além disso, estes compostos também podem se ligar a metais, minimizando efeitos tanto de metal pesado quanto da deficiência e toxicidade em solos (McCarthy, 2001)

Além do COT, faz-se necessário o fracionamento da MOS, que pode aumentar a sensibilidade de solos submetidos a diferentes usos (Bayer et al., 2002). As substâncias húmicas, em média, contem 63% do COT, sendo que a maior proporção do C encontra-se na HUM, seguido por AH e AF. A planta de cobertura que promoveu os mais altos níveis de carbono segundo Santos et al. (2014) foi braquiária ruzizensis, em especial as frações de AH e COP, que são indicadores de matéria orgânica do solo de alta qualidade. A adubação de cobertura com nitrogênio teve pouca influência sobre o conteúdo da matéria orgânica recalcitrante, mas promoveu o aumento dos níveis de carbono orgânico lábil e mudou o conteúdo de carbono orgânico particulado associado a minerais. A fração COP teve a maior variação entre 21 e 63% (Cambardella & Elliott, 1992; Bayer et al., 2002; Santos et al. 2014). As proporções de COP e COM no COT mostra a importância do acúmulo e qualidade de resíduos de plantas de cobertura, além da adubação para a formação dessas frações da MOS em solo de cerrado (Santos et al. 2014).

Devido à sua maior labilidade, as alterações dos estoques de carbono orgânico particulado (COP) são percebidas normalmente em curto prazo, sendo uma fração sensível às práticas de manejo. COP foi maior no Cerrado Nativo do que em sistemas de cultivos estudados. As pastagens também resultaram em aumento do teor desta fração no solo (Figueiredo et al., 2010; Figueiredo et al., 2013).

O carbono lábil (CL), prontamente utilizado, pode ser identificado entre as frações sensíveis ao manejo. Variações significativas em seus teores podem ser verificadas em decorrência do uso de determinadas culturas de rápida decomposição e menor quantidade de lignina. Já as substâncias húmicas, mais estáveis, são constituídas por moléculas complexas e heterogêneas e estas frações orgânicas têm sido utilizadas como indicadoras de qualidade do solo, devido à sua forte interação com o material mineral do solo (Fontana et al., 2006).

2.3. EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA E NA PRODUTIVIDADE DE MILHO.

O nitrogênio é o nutriente de maior demanda por cultivos, e 40-60% do N absorvido por culturas vem de fertilização de nitrogênio com fertilizantes sintéticos aplicados no solo, uma prática que é responsável por 20% do custo de produção. A crescente utilização de cultivares de alto potencial produtivo tem implicado no uso mais freqüente de insumos, entre os quais a adubação nitrogenada mostra-se importante na definição da produtividade (Zagonel et al., 2002).

O nitrogênio é um nutriente fundamental para a manutenção da produtividade, sendo o principal constituinte das proteínas que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal. Desta forma, é responsável pelas características estruturais da planta, além de suas características morfogênicas (Costa et al., 2006; Silva et al., 2012). A adubação nitrogenada é imprescindível para a manutenção da produção e melhoria na composição em proteína e minerais de braquiária *ruziziensis* (Andrade et al., 1996).

O aumento da dose de nitrogênio promove incrementos na produtividade de matéria seca (Araújo et al., 2004; Mateus et al., 2012; Lima et al., 2016;), número de perfilhos, teor de nitrogênio total, de proteína bruta e relativo de clorofila em plantas de *Urochloa ruziziensis*, com uma maior eficiência no período chuvoso (Lima et al., 2016). Estudo realizado por Mateus et al. (2012) mostrou que quando foram aplicadas maiores doses de N em cobertura no consórcio, houve incremento da produtividade de matéria seca da forragem do capim-marandu, e que as maiores doses de N aplicadas na semeadura elevaram a produção do capim-mombaça.

Em solo cultivado com milho, sem uso de plantas de cobertura, o teor de N mineral diminui rapidamente após a adubação nitrogenada devido a fatores, tais como a absorção de culturas e lixiviação (Ros et al., 2003). As plantas de cobertura podem minimizar a diminuição de N do solo, associada a sistemas como plantio direto, contribui para minimizar a perda de matéria orgânica e aumentar o C ao longo dos anos. A palhada das culturas funciona como tamponamento, alteram o ciclo de nutrientes e os processos de mineralização e imobilização no solo, que dependem das razões C/N e lignina/N, teores de lignina, celulose e hemicelulose do seu resíduo de colheita (Diekow et al., 2005; Carvalho et al., 2012; Ferreira et al., 2014; Veras et al., 2016).

Um fator importante no cultivo do milho é o manejo da adubação nitrogenada, sendo que a aplicação do nitrogênio em cobertura proporciona aumento na produtividade de

grãos, independentemente do sistema de cultivo adotado (convencional ou plantio direto) (Borges et al., 2006; Costa et al., 2011). Costa, et al. (2011) observaram que a adubação mineral proporcionou maiores absorção de N e produtividade de milho mais elevada em comparação com as adubações orgânica e organomineral com dejetos de suínos.

3. HIPÓTESES E OBJETIVO

3.1. HIPÓTESES

- O rendimento de matéria seca, a composição química das plantas de cobertura em uso no sistema plantio direto e a adubação nitrogenada alteram as frações de carbono do solo.
- A composição química de plantas de cobertura, seu rendimento de matéria seca e a adubação nitrogenada são indicadores adequados da capacidade do solo em acumular C.

3.2. OBJETIVO

- Avaliar o efeito da composição química de diferentes plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15°35'30"S, 47°42'30"W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, caulínítico, de textura argilosa (Santos et al., 2013) localizado em relevo suave-ondulado. No início do experimento o solo apresentava as seguintes características químicas determinadas conforme metodologia da Embrapa (1997): pH (em água) = 6,0; MO = 21,7 g kg⁻¹; P_{Mehlich1} = 0,9 mg kg⁻¹; Al³⁺ = 0,1 cmol_c kg⁻¹; Ca²⁺+Mg²⁺ = 2,9 cmol_c kg⁻¹; K⁺ = 0,1 cmol_c kg⁻¹. A composição mineralógica do horizonte diagnóstico do solo foi caulinita (320 g kg⁻¹), gibsitita (496 g kg⁻¹), hematita (142 g kg⁻¹) e goetita (42 g kg⁻¹), conforme descrito por Reatto et al. (2009).

De acordo com Köppen o clima local é classificado como tropical estacional (Aw), sendo caracterizado por duas estações bem definidas (seca e chuvosa). A precipitação média anual na região oscila de 1.400 mm a 1.600 mm, com temperatura média anual de 24,5 °C (Adámoli et al., 1987). Na Figura 1 estão apresentadas as precipitações mensais e a temperatura de 2013 até junho de 2014, quando foram feitas as coletas de solo.

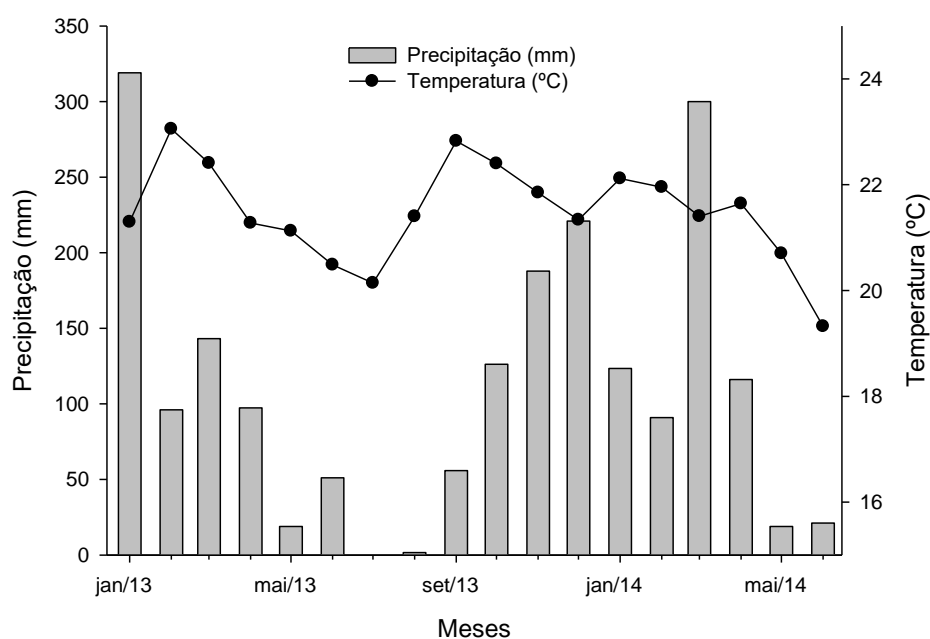


Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média do ar (°C) referente ao período de jan/2013 a jun/2014 na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

4.1.1. Histórico da área e o delineamento experimental

A área do experimento se encontrava em pousio, e em 2005 o milho foi semeado para um experimento em branco, ou seja, para nivelar a fertilidade do solo. No início de 2006 as plantas de cobertura foram semeadas e manejada com corte na floração e maturação, cujo manejo se repetiu assim até 2009. A semeadura do milho ocorreu sempre na primeira quinzena de novembro. As parcelas com uso das plantas de cobertura se repetiram anualmente (Figura 2). A partir de 2010, as plantas de cobertura (parcelas) passaram a ser manejadas na floração e as subparcelas receberam tratamentos com e sem N aplicado em cobertura à cultura do milho.

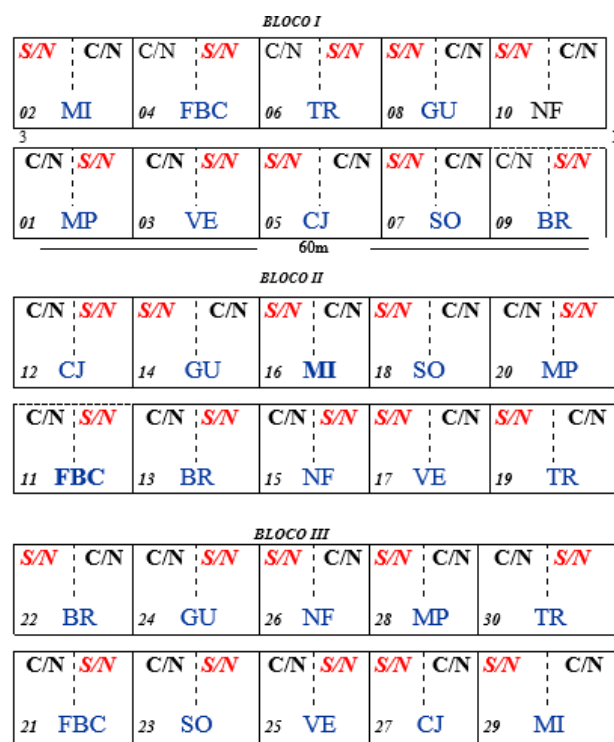


Figura 2. Croqui da área onde foi implantado o experimento com as plantas de cobertura em sucessão ao milho. Parcela correspondem as plantas de cobertura e subparcelas aos tratamentos com adubação nitrogenada (N) e sem adubação nitrogenada (S/N). Milheto (MI), feijão-bravo-do-ceará (FBC), trigo (TR), Guandu (GU), nabo forrageiro (NF), mucuna preta (MP), vegetação espontânea (VE), crotalária juncea (CJ), sorgo (SO) e braquiária ruziziensis (BR).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições (Figura 2). As parcelas foram representadas pelas plantas de cobertura e as subparcelas pela aplicação de N mineral na forma de ureia em cobertura ao milho (com 130 kg ha⁻¹ N, parcelada em duas vezes de 65 kg ha⁻¹ N cada, e sem aplicação de N).

As plantas de cobertura foram semeadas durante a primeira semana de abril de 2013 (fim da estação chuvosa). As seguintes espécies vegetais foram avaliadas nesta pesquisa: braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis* syn.: *Brachiaria ruziziensis*) (Poaceae), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth) (Fabaceae), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) (Fabaceae) e Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Poaceae).

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada diretamente sobre os restos culturais do milho cultivado anteriormente, utilizando-se da fertilidade residual dessa cultura. A densidade de plantas foi de 20 plantas por metro linear para guandu, sorgo, braquiária ruziziensis; e 10 plantas por metro linear, para feijão-bravo-do-ceará. O espaçamento entre linhas de semeadura foi de 0,5 m para todas as espécies vegetais (Carvalho & Amabile, 2006).

A semeadura do milho foi realizada em novembro de 2013 com a seguinte adubação aplicada no sulco de semeadura: 20 kg ha⁻¹ de N (ureia), 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 80 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). A adubação de cobertura foi parcelada em duas vezes e foram aplicados 65 kg ha⁻¹ de N, nos estádios de crescimento V4 e V6, totalizando 130 kg ha⁻¹ de N.

4.2. COLETAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DAS PLANTAS DE COBERTURA

4.2.1. Amostragem das plantas

A amostragem visando determinar matéria seca e análises de fibra em detergente ácido (FDA), de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina foi realizada com o corte das plantas rentes ao solo (duas repetições de 1 m² por subparcela), no período de floração. Para determinação de matéria seca, as sub amostras foram pesadas separadamente e foram compostas para uma única amostra visando às análises de composição química.

4.2.2. Composição química das plantas de cobertura: hemiceluloses, celulose, lignina e nitrogênio total

As análises de matéria seca a 105°C, de fibra em detergente ácido (FDA), de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina foram realizadas pelo método sequencial (Robertson & Van Soest, 1981). Os teores de hemiceluloses e celulose foram determinados pelas diferenças entre FDN e FDA, e entre resíduos de FDA e resíduos de lignina, respectivamente.

A determinação de nitrogênio total nas amostras foi feita pelo método Kjeldahl de acordo com Fontana (2012). As amostras foram digeridas com ácido sulfúrico junto ao catalisador (1 kg K_2SO_4 :100 g Na_2SO_4), em blocos digestores e aquecidas a 350 °C; posteriormente, as amostras foram destiladas após reação com hidróxido de sódio, cujo destilado reagiu com ácido bórico; a titulação foi realizada com ácido sulfúrico.

4.3. COLETAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DO SOLO

4.3.1. Amostragem do solo

Após a colheita do milho em março de 2014, as amostras do solo foram coletadas nas profundidades 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m obtendo-se uma amostra composta formada por cinco subamostras em cada subparcela. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Matéria Orgânica do Solo da Universidade de Brasília, secas ao ar e passadas na peneira com malha de 2 mm.

4.3.2. Determinação do carbono orgânico

O CO foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio, na presença de ácido sulfúrico seguido da titulação com sulfato ferroso amoniacal, sem fonte externa de calor (Walkley & Black, 1934), sendo 20 g de TFSA pesados e colocados em erlenmeyer de 500 ml. Foram adicionados 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 20 ml de H_2SO_4 concentrado, agitando bem para garantir a mistura do solo com os reagentes. Após o repouso de 30 minutos adicionaram-se 200 ml de água destilada, 10 ml de H_3PO_4 concentrado e 1 ml de difenilamina 0,16 %. A titulação foi realizada com $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2.6H_2O]$ 1 mol L⁻¹ (Sal de Mohr).

4.3.3. Fracionamento físico-granulométrico

O fracionamento físico-granulométrico da MOS foi realizado de acordo com Cambardella & Elliott (1992), com ajustes no peso da amostra utilizado (Bayer et al., 2004; Bongiovanni & Lobartini, 2006).

Pesou-se 20 g de TFSA em recipientes de 250 mL e adicionou-se 70 mL de hexametáfosfato de sódio na concentração de 5 g L⁻¹. A mistura foi agitada por 15 horas em agitador horizontal a 130 rpm de oscilações. A seguir, a suspensão foi passada em peneira com malha de 53 µm com auxílio de um jato de água. O material retido na peneira, que consiste da

matéria orgânica particulada ($> 53 \mu\text{m}$), foi seco em estufa a 45°C , pesado, moído em almofariz de porcelana e analisado em relação ao seu teor de carbono na fração particulada da matéria orgânica do solo (COP). Após o fracionamento, o COP foi determinado por oxidação úmida, sem fonte externa de calor (Walkley & Black, 1934).

O carbono orgânico associado à fração mineral (COM) foi calculado pela diferença entre o COT e COP.

4.3.4. Fracionamento químico de substâncias húmicas

O carbono das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina foi determinado segundo metodologia descrita por Mendonça & Matos (2005). Para isso utilizou-se 1 g de TFSA em tubo de centrífuga de 50 mL com tampa e adicionou 20 mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (relação 1:20). A fração ácido fúlvico foi obtida da porção solúvel no extrato alcalino e a fração ácido húmico a partir do precipitado em meio ácido, após o abaixamento do pH para valores entre 1-1,5. A fração humina foi considerada todo o extrato insolúvel em meio ácido e alcalino e determinada no precipitado restante do tubo de centrífuga após a centrifugação do extrator alcalino.

Após a extração, o carbono das frações húmicas foi quantificado por meio da oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ com aquecimento externo sob refluxo e titulação com $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (Nelson & Sommers, 1996). Foi calculada também a relação carbono ácido húmico/ácido fúlvico (C-AH/C-AF), como indicadora de qualidade da matéria orgânica do solo (MOS).

4.3.5. Oxidação do carbono por permanganato de potássio

O teor de C lábil (CL) foi determinado pela oxidação da amostra com $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ de KMnO_4 e posterior leitura de absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 565 nm (Mendonça & Matos, 2005). Para tanto, 1 grama de TFSA foi colocado em tubos de centrífuga de 50 ml cobertos com papel alumínio para evitar a fotoxidação do KMnO_4 . Foram adicionados 25 ml da solução de KMnO_4 $0,033 \text{ mol L}^{-1}$, agitados por 1 hora, e em seguida centrifugados por 5 minutos. Após centrifugação, 1 mL do sobrenadante foi pipetado em balões volumétricos de 250 ml, completando seu volume com água destilada. Após isso, foi feita a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 565 nm. Foi feita uma curva padrão para determinação do CL, a partir de uma solução contendo $0,00060 \text{ mol L}^{-1}$ de KMnO_4 . Para

cada ponto da curva foram pipetadas em 5 balões de 100 ml quantidades correspondentes à: 13,3; 16,67; 18,67; 20,0; e 22,0 mL completando o volume com água destilada.

4.3.6. Carbono da biomassa microbiana

A determinação do CBM foi realizada pelo método da irradiação-extração. As amostras que estavam armazenadas em geladeira, foram colocadas para secar ao ar 24 horas antes das análises. De cada amostra de solo foram pesadas seis subamostras de 20 g, três para irradiação e três para não irradiação. As amostras foram irradiadas em forno microondas por 137 segundos (tempo de exposição calculado para seis amostras de 20 g). Após a irradiação, a extração das 6 subamostras foi realizada com 80 ml K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e a solução foi submetida à agitação por 30 minutos em agitador horizontal a 150 rpm, posteriormente deixadas em repouso por aproximadamente 30 minutos. Filtrou-se o sobrenadante em recipientes de plástico com auxílio de papel filtro faixa branca. A uma alíquota de 8 mL do filtrado foram acrescentados 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 mL de H_2SO_4 . Após o esfriamento da solução acrescentou-se 50 mL de água destilada e novamente esperou-se esfriar. Foram adicionadas 3 gotas do indicador ferroin e titulou-se o excesso de $K_2Cr_2O_7$ com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ $0,033 \text{ mol L}^{-1}$. O CBM foi calculado pela fórmula: $CBM = (CI - CNI)/Kec$, onde, CI e CNI: representam o total de carbono orgânico liberado das subamostras irradiadas e não irradiadas, respectivamente; o Kec: fator que representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana. Neste estudo utilizou-se o $Kec = 0,33$ (Mendonça & Matos, 2005).

4.4. DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Na maturação da cultura, em março de 2014, quatro linhas de 4 m de comprimento foram colhidas em cada subparcela, pesadas com a determinação de umidade das amostras de cada subparcela para quantificação da produtividade de grãos de milho com a correção da umidade dos grãos para 13%.

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), que permitiu avaliar os efeitos dos tratamentos e da interação entre os mesmos por meio do *software* ASSISTAT 2015.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada usando o *software* XLSTAT 2015 que permitiu fazer uma distinção das espécies estudadas, considerando todos os atributos juntos (teores de hemiceluloses, celulose e de lignina, razão lignina:N, conteúdo de N, rendimento do milho, frações de carbono e carbono orgânico total).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE COBERTURA

Houve diferença significativa em relação ao teor de N da parte aérea das plantas de cobertura, onde o sorgo apresentou o menor teor na sua parte aérea ($14,87 \text{ g kg}^{-1}$) ($p < 0,05$) quando comparado às demais plantas de cobertura (Tabela 1). Esse resultado corrobora aqueles obtidos por Carvalho et al. (2012) e Carvalho et al. (2015), nos quais o sorgo também mostrou o menor valor de N ($9,54$ e $10,73 \text{ g kg}^{-1}$, floração e maturação, respectivamente) e os maiores os teores foram encontrados na parte aérea das espécies feijão-bravo-do-ceará e braquiária ruziziensis.

As plantas de cobertura apresentaram teores diferenciados de hemiceluloses, celulose e lignina na parte aérea (Tabela 1). O maior teor de hemiceluloses foi obtido na parte aérea de braquiária ruziziensis, o feijão-bravo-do-ceará apresentou teor intermediário e sorgo e guandu os menores teores na parte aérea ($p < 0,05$). Quanto aos teores de celulose, o sorgo apresentou maior concentração que o feijão-bravo-do-ceará e guandu ($p < 0,05$) e não diferiu estatisticamente da braquiária ruziziensis.

O maior teor de lignina foi obtido na parte aérea do guandu, enquanto o menor foi determinado no tecido vegetal de braquiária ruziziensis ($p < 0,05$). Teores elevados de lignina na parte aérea de guandu e sorgo também foram observados em outros trabalhos, onde a decomposição dos resíduos destas plantas e os tempos de ciclagem foram mais altos e explicados pela composição química em relação ao C mais recalcitrante do grupo de ligninas (Carvalho et al., 2011; 2012; 2015).

A menor relação lignina:N na parte aérea ($p < 0,05$) foi obtida para tecido vegetal de braquiária ruziziensis, seguida por feijão-bravo-do-ceará, concordando com os resultados obtidos por Carvalho et al. (2011; 2012; 2015) para as mesmas plantas de cobertura no Cerrado. Nesses trabalhos, o feijão-bravo-do-ceará e braquiária ruziziensis apresentaram decomposição mais rápida, explicadas por meio das menores concentrações de lignina e menor relação lignina:N, atestadas por meio da análise de componentes principais (Carvalho et al., 2012).

Tabela 1. Concentrações de nitrogênio (N), hemiceluloses, celulose e lignina (g kg^{-1}), relação lignina: N na parte aérea das plantas de cobertura.

Plantas de cobertura	N	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Lignina/N
Braquiária ruziziensis	24,40 a	263,16 a	222,92 ab	19,77 c	0,81 d
Sorgo 'BR 304'	14,87 b	132,49 c	240,85 a	45,42 b	3,11 b
Feijão-bravo-do-ceará	20,96 a	185,67 b	202,81 b	39,5 b	1,90 c
Guandu cv mandarim	20,91 a	124,98 c	202,28 b	85,49 a	4,10 a
CV%	8,97	11,84	6,76	13,07	15,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O maior rendimento de matéria seca ($p < 0,05$) das plantas de cobertura (Tabela 2) foi obtido para espécie de feijão-bravo-do-ceará (3251 kg ha^{-1}), seguido por sorgo (2336 kg ha^{-1}), guandu (1994 kg ha^{-1}) e o menor valor foi observado para braquiária ruziziensis ($1436,3 \text{ kg ha}^{-1}$). Carvalho et al. (2015) também encontraram a maior produtividade de matéria seca para feijão-bravo-do-ceará e seu menor valor para braquiária ruziziensis.

Em relação a absorção de N, observa-se que o maior valor ($p < 0,05$) também foi apresentado para a planta de cobertura feijão-bravo-do-ceará ($68,27 \text{ kg ha}^{-1}$), o que indica uma combinação de produtividade de fitomassa e maiores teores de N na parte aérea desta planta de cobertura. Entre as espécies vegetais, sorgo, guandu e braquiária ruziziensis não houve diferenças significativa quanto ao conteúdo de N.

Tabela 2. Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) e absorção de N (kg ha^{-1}) na parte aérea das plantas de cobertura.

Plantas de cobertura	Matéria Seca	N
Braquiária ruziziensis	1436,3 c	35,06 b
Sorgo 'BR 304'	2335,6 b	34,90 b
Feijão-bravo-do-ceará	3251,1 a	68,27 a
Guandu cv mandarim	1993,7 bc	42,03 b
CV%	16,44	21,45

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

O guandu e o sorgo apesar de não mostrarem altos valores de matéria seca (Tabela 2), apresentaram maiores teores de lignina e relação lignina/N (Tabela 1), o que faz com que os resíduos destas plantas permaneçam por mais tempo no solo. Conforme observado por Recalde et al. (2015), a produção de massa seca de adubos verdes pode contribuir efetivamente para o

incremento de matéria orgânica no solo ao longo dos anos, já que está ligada a processos fundamentais como a ciclagem e acúmulo de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte de energia para a atividade biológica do solo (Roscoe et al., 2006).

A velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos vegetais das plantas de cobertura é inversamente proporcional à razão lignina:N e diretamente proporcional aos teores de N (Aita & Giacomini, 2003). Esse comportamento justifica as maiores produtividades do milho obtidas quando em sucessão a feijão-bravo-do-ceará na mesma área experimental (Carvalho et al., 2015). A maior velocidade de decomposição dos resíduos vegetais da planta de cobertura torna os nutrientes como o nitrogênio mais rapidamente disponível à cultura subsequente, no caso, o milho.

No presente trabalho, não houve diferenças quanto à produtividade do milho (Tabela 3) nos tratamentos com as plantas de cobertura avaliadas em sucessão, porém pode ser observado tendência de maior produtividade para o milho em sucessão a feijão-bravo-do-ceará sem adição de N (72296 kg ha^{-1}). Esse resultado concorda com Carvalho et al. (2015), que obteve maiores rendimentos de milho ($p < 0,05$) quando em sucessão a feijão-bravo-do-ceará, destacando o potencial desta leguminosa como fornecedora de N, inclusive em substituição ao fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura na cultura do milho.

Nos tratamentos com N e sem adição de N aplicado em cobertura à cultura de milho ($p < 0,05$) observa-se que a aplicação de N elevou sua produtividade, sendo que o maior incremento foi no milho em sucessão à braquiária *ruziziensis* com aumento de 40 % na produtividade desta cultura (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade do milho na safra 2013/2014 em sucessão a diferentes plantas de cobertura.

Plantas de cobertura	Produtividade			
	N		SN	
Braquiária <i>ruziziensis</i>	8964,05	aA	5462,79	aB
Sorgo 'BR 304'	8307,07	aA	6127,13	aB
Feijão-bravo-do-ceará	8580,28	aA	7296,21	aB
Guandu cv mandarim	8393,63	aA	6859,13	aB
Média	8561,25	aA	6436,32	aB
CV%	7,95		9,56	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 %, minúscula na coluna e maiúsculas na linha.

5.2. EFEITOS DA PRODUÇÃO E DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PLANTAS DE COBERTURA NO CARBONO ORGÂNICO E NAS FRAÇÕES DE CARBONO DO SOLO

Não houve efeito da aplicação de N no teor de CO nos tratamentos. Porém, houve efeito das plantas de cobertura sobre os teores de CO nas duas camadas de solo (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m). Parcelas com uso de braquiária *ruziziensis* e guandu apresentaram maiores teores de CO ($p < 0,05$) do que com sorgo e feijão-bravo-do-ceará (Tabela 4). O Sistema radicular abundante de braquiária *ruziziensis* pode ter favorecido o acúmulo CO abaixo de 0,10 m (Rossi et al., 2011; Santos et al., 2014). Sistema radicular mais profundo faz com que essas plantas de cobertura sejam mais resistentes à seca (Burle et al., 2006), o que é favorável nas condições edafoclimáticas do Cerrado, e ainda, contribui para o acúmulo de C no solo. Segundo estudos realizados por Loss et al. (2012), o uso de braquiária *ruziziensis* propicia a deposição de resíduos vegetais com maior razão C/N, o que acarreta decomposição mais lenta e favorece o acúmulo de CO e N nos agregados do solo.

As plantas de cobertura não promoveram diferença quanto aos teores de AF nas profundidades estudadas (Tabela 3). O tratamento com uso de feijão-bravo-do-ceará promoveu o maior teor de AH ($p < 0,05$) na profundidade de 0,0-0,10 m, não havendo diferença nas parcelas com uso das demais plantas de cobertura. Elevada produção de massa seca associada à maior absorção de N pelo feijão-bravo-do-ceará podem explicar o aumento da formação de AH na camada de 0,0-0,10 m. Além disso, a maior taxa de decomposição dessa espécie favorece a humificação da MOS deve ter promovido o maior acúmulo de AH. Em estudos realizados por Santos et al. (2014) a cultura que apresentou maior formação de AH foi braquiária *ruziziensis*, cujo baixo teor de lignina não foi suficiente para a formação de humina. Canellas et al. (2007) sugeriram que as proporções mais elevadas de AH indicam melhoria na qualidade da matéria orgânica do solo. Assim, plantas de cobertura, como braquiária *ruziziensis* e feijão-bravo-do-ceará, que apresentam maiores teores de hemiceluloses e menores concentrações de lignina, produzem matéria orgânica de mais fácil decomposição (Santos et al., 2014). Na camada de 0,10-0,20 não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura quanto a formação de AH.

O feijão-bravo-do-ceará favoreceu o acúmulo de HUM no solo, em ambas as profundidades estudadas. Como destacado para o AH, esta espécie apresenta produção de massa seca, acúmulo de N, teores de lignina e razão lignina:N na parte aérea que favorecem a rápida decomposição e consequente humificação da MOS. Conforme Canellas et al. (2003) a interação

com a fração mineral de natureza oxídica e as reações de desidratação favorecidas pela alternância de períodos secos e úmidos, favorecem a formação de huminas.

Não houve diferença na relação AH/AF, porém, pode ser observado tendência de maior valor para o solo com uso de feijão-bravo-do-ceará na camada de 0,0-0,10 m do solo, e na camada de 0,10-0,20 m no solo com uso de braquiária ruziziensis. A relação AH/AF pode ser considerada um indicador da qualidade húmus (Sousa, et al., 2015), pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da matéria orgânica e a capacidade de avaliar a mobilidade C no solo, conforme proposto por Kononova (1982).

Na tabela 4 pode ser observado que a relação AH/AF variou entre 0,21 e 0,31 (g kg⁻¹) na camada de 0-10 cm e 0,18 a 0,31 (g kg⁻¹) na camada de 10-20 cm. Essa relação AH/AF, geralmente inferior a 1,0, indica mineralização rápida e intensa dos resíduos vegetais, consequentemente, no processo de humificação (Cerri & Volkoff, 1988; Canellas et al., 2002).

Tabela 4. Carbono orgânico (CO), frações de carbono em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH), humina (Hum), em g kg⁻¹, relação AH/AF em Latossolo sob plantas de cobertura com (N) e sem (SN) adubação nitrogenada na cultura do milho.

Plantas de cobertura	COT	AF	AH	Hum	AH/AF
0,0-0,10 m					
Braquiária ruziziensis	19,95 a	7,07 a	1,52 b	9,09 b	0,23 a
Sorgo 'BR 304'	17,27 b	6,42 a	1,46 b	9,92 b	0,22 a
Feijão-bravo-do-ceará	15,49 c	7,01 a	2,18 a	12,09 a	0,31 a
Guandu cv mandarim	18,71 ab	6,91 a	1,48 b	8,93 b	0,21 a
Fertilização					
N	17,91 a	7,05 a	1,51 a	9,89 a	0,22 a
S/N	17,79 a	6,66 a	1,81 a	10,12 a	0,27 a
CV% ⁽¹⁾	4,73	13,41	17,24	7,48	21,18
CV% ⁽²⁾	3,66	29,03	32,42	12,19	29,52
0,10-0,20 m					
Braquiária ruziziensis	18,33 a	6,24 a	1,87 a	8,89 b	0,31 a
Sorgo 'BR 304'	15,91 bc	6,39 a	1,18 a	9,72 b	0,18 a
Feijão-bravo-do-ceará	13,79 c	6,21 a	1,76 a	11,65 a	0,28 a
Guandu cv mandarim	17,42 ab	5,33 a	1,40 a	8,90 b	0,27 a
Fertilização					
N	16,44 a	5,87 a	1,52 a	9,72 a	0,26 a
S/N	16,28 a	6,22 a	1,59 a	9,86 a	0,26 a
CV% ⁽¹⁾	6,57	13,21	31,49	5,24	33,58
CV% ⁽²⁾	4,72	19,73	28,4	10,33	23,27

Médias seguidas por letras iguais não se diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05). ⁽¹⁾ O coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ O coeficiente de variação do efeito de fertilização.

As diferenças entre parcelas com uso das plantas de cobertura podem ser observadas na camada mais profunda (0,10-0,20 m). Nessa camada, o feijão-bravo-do-ceará promoveu

maior acúmulo de CL ($p < 0,05$), não havendo diferença entre os tratamentos com as demais plantas de cobertura. Elevada absorção de N, alta produção de massa seca, altos teores de hemiceluloses e baixos teores de lignina favorecem a formação de matéria orgânica de fácil decomposição por esta espécie.

Tabela 5. Carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM) em g kg^{-1} , carbono da biomassa microbiana (CBM) em mg kg^{-1} e carbono lábil (CL) em mg g^{-1} em Latossolo sob plantas de cobertura com (N) e sem (SN) aplicação de nitrogênio na cultura do milho.

Plantas de cobertura	COP				COAM				CBM				CL			
	N		SN		N		SN		N		SN		N		SN	
0,0 – 0,10 m																
Braquiária ruziziensis	2,28	bA	2,58	bA	16,46	aA	16,91	aA	195,85	aA	159,63	aA	1,55	aA	1,50	aA
Sorgo 'BR 304'	1,75	cA	1,09	cB	14,46	abA	15,58	abA	272,94	aA	117,64	aB	1,40	aA	1,38	aA
Feijão-bravo-do-ceará	2,01	bcA	2,16	bcA	13,15	bA	13,14	bA	220,51	aA	148,71	aB	1,95	aA	2,16	aA
Guandu cv mandarim	2,94	aB	3,64	aA	15,44	abA	14,51	abA	174,97	aA	139,18	aA	1,31	aA	1,56	aA
CV% ⁽¹⁾	8,6				8,10				36,05				30,14			
CV% ⁽²⁾	9,66				5,75				18,93				20,77			
0,10 – 0,20 m																
Braquiária ruziziensis	2,28	abA	2,58	abA	15,83	aA	15,96	aA	211,30	abA	115,76	aB	1,14	bA	1,22	bA
Sorgo 'BR 304'	1,75	bA	1,94	bA	14,48	abA	13,64	abA	166,39	abA	121,01	aA	1,02	bA	0,98	bA
Feijão-bravo-do-ceará	2,01	abA	2,16	abA	11,70	bA	11,69	bA	242,70	aA	196,64	aA	2,14	aA	2,31	aA
Guandu cv mandarim	2,94	aB	3,64	aA	14,76	abA	4,30	abA	130,58	bA	172,20	aA	1,13	bA	0,92	bA
CV% ⁽¹⁾	25,94				11,9				26,28				37,66			
CV% ⁽²⁾	23,33				5,17				15,87				17,60			

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%, minúscula na coluna e maiúsculas na linha. ⁽¹⁾ O coeficiente de variação relacionada com plantas de cobertura. ⁽²⁾ O coeficiente de variação do efeito de fertilização.

Os tratamentos com uso das plantas de cobertura também se diferenciaram quanto aos teores de COP no solo (Tabela 5). Na camada de 0,0-0,10 m, enquanto no solo com uso de guandu observou-se redução de COP com aplicação de nitrogênio, o sorgo promoveu o aumento do COP no solo ($p < 0,05$) com aplicação de nitrogênio em cobertura à cultura do milho. As demais espécies não responderam ao fornecimento de N à cultura do milho quanto ao acúmulo de COP, na camada superficial do solo. Na camada 0,10-0,20 m do solo com guandu também houve redução no acúmulo de COP com aplicação de N em cobertura à cultura do milho.

Na camada superficial, o tratamento com uso de guandu diferenciou dos tratamentos com as demais plantas, resultando nos maiores valores de COP ($p < 0,05$). Na camada mais profunda houve diferença apenas nas parcelas com uso de sorgo e guandu, sendo os maiores valores desta fração obtidos no solo com essa leguminosa de baixa taxa de decomposição (Carvalho et al., 2011; 2012, 2015)

Quanto aos teores de COAM, observa-se que nas duas camadas houve diferença apenas nas parcelas de braquiária ruziziensis e feijão-bravo-do-ceará, com menor acúmulo no tratamento com feijão-bravo-do-ceará ($p < 0,05$). Santos et al. (2014) observaram que no solo com uso de guandu os teores de COAM foram menores ($p < 0,05$) do que com braquiária ruziziensis e feijão-bravo-do-ceará.

Não houve diferença no CBM nos tratamentos com plantas de cobertura na profundidade de 0,0-10 m. Já na camada de 0,10 – 0,20 m houve diferença entre os tratamentos com as plantas na presença de N em cobertura à cultura de milho, onde o menor valor ($p < 0,05$) foi observado no solo com uso de guandu. Observa-se ainda na Tabela 5 que a aplicação de N em cobertura na cultura de milho promoveu acúmulo de CBM no solo quando em sucessão ao sorgo ou feijão-bravo-do-ceará, na profundidade de 0,0-0,10 m ($p < 0,05$). Já na camada 0,10-0,20 m, a aplicação de N em cobertura promoveu maior acúmulo de CBM ($p < 0,05$) quando cultivado em sucessão ao feijão-bravo-do-ceará. O solo com uso de feijão-bravo-do-ceará favoreceu o acúmulo de cerca de 53% a mais que o solo cultivado com guandu.

Conforme Santos et al. (2004), a maior imobilização de carbono pela biomassa microbiana do solo (BMS) em áreas com uso de plantas de cobertura deve-se ao incremento do teor de C orgânico no solo via decomposição de resíduos destas plantas. A maior quantidade de resíduos na superfície do solo, além de aumentar a disponibilidade de substrato, determina condições de menores variação térmica e temperatura do solo, além de maior disponibilidade de água, favorecendo a biomassa microbiana (Duarte et al., 2014). Assim, a combinação de produtividade de matéria seca com os maiores teores de N, resultou em maior conteúdo de N, além da decomposição mais acelerada devido aos menores teores de lignina na parte aérea de feijão-bravo-do-ceará, que pode ter favorecer o maior acúmulo de CMB no solo sob uso dessa espécie. Observa-se na tabela 2 que as plantas de cobertura que apresentaram o maior rendimento de matéria seca, ou seja, feijão-bravo-do-ceará (3251,2 kg ha⁻¹) e sorgo (2335,6 kg ha⁻¹) favoreceram o acúmulo de CBM (Tabela 5).

5.3. RELAÇÕES ENTRE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PLANTAS DE COBERTURA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Dois componentes principais foram gerados (CP1 e CP2) como ferramenta para agrupar plantas de cobertura considerando parâmetros de composição químicas da parte aérea dessas plantas, CO e frações da MOS (Figura 2)

Verifica-se que a distribuição das variáveis selecionadas apresentou uma variação acumulada de 48,84% para CP1 e CP2. Conforme a composição química da parte aérea e o acúmulo de frações da MOS, as plantas de cobertura foram agrupadas em três grupos: feijão-bravo-do-ceará; braquiária ruziziensis; e sorgo + guandu. As variáveis que mais se relacionaram com braquiária ruziziensis foram hemicelulose e os teores de CO e COAM. O feijão-bravo-do-ceará, por sua vez, se relacionou com absorção de N e produção de massa seca, teores de HUM, AH e CL. O sorgo e o guandu se relacionaram mais intensamente com teores de lignina e razão lignina:N.

Os maiores teores de N promovidos pelo feijão-bravo-do-ceará resultaram em maior equilíbrio entre a formação de substâncias húmicas e matéria orgânica leve, representando um ambiente em que parte da matéria orgânica pode promover maior liberação nutrientes para o milho, além de promover formas estáveis de carbono no solo, importantes para a diminuição das emissões de carbono para atmosfera.

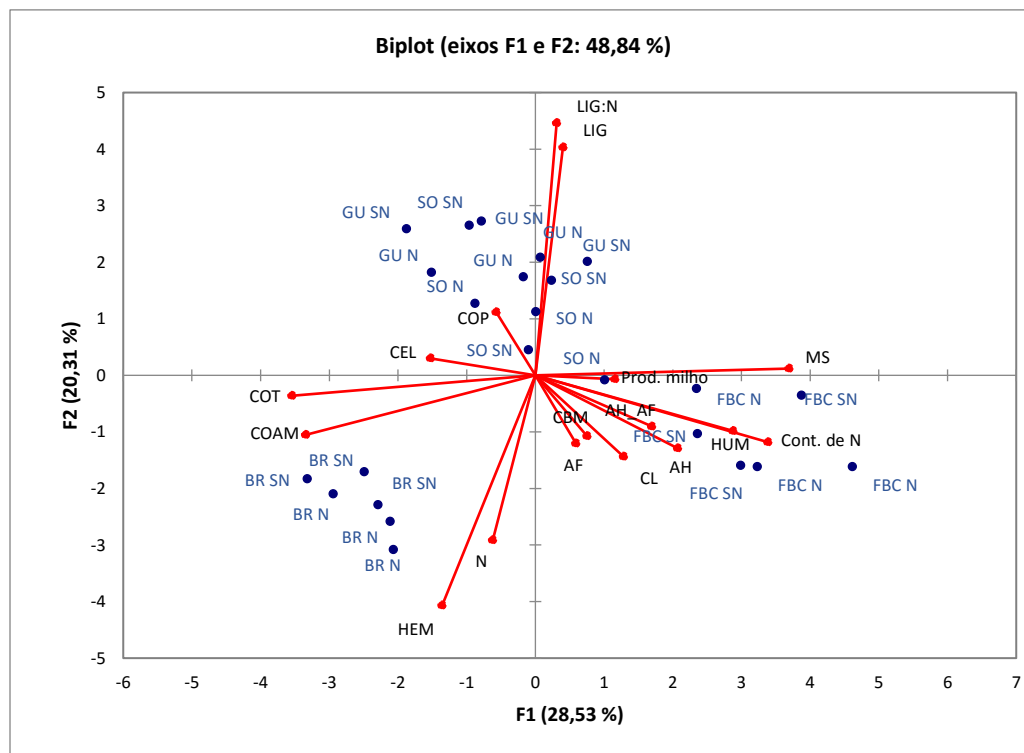


Figura 3. Análise de componentes principais das variáveis estudadas nas plantas de cobertura, braquiária ruziziensis (BR), sorgo (SO), gunadu (GU) e feijão-bravo-do-ceará (FBC) quanto aos teores de hemiceluloses (HEM), celulose (CEL), lignina (LIG), razão lignina:N (LIG:N), conteúdo de N e matéria seca (MS), na produtividade do milho e os teores de Carbono orgânico (CO), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), carbono lábil (CL), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HUM) no solo.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

1. Teores elevados de nitrogênio associados com a elevada produção da matéria seca, maior concentração de hemiceluloses e menor teor de lignina resultam em maior qualidade da matéria orgânica do solo com uso de feijão-bravo-do-ceará, representado pelo acúmulo de AH, relação AH/AF e CL.
2. Braquiária ruziziensis promove acúmulo de CO e COM resultado dos maiores teores de hemiceluloses e menores de lignina na composição química de seu material vegetal.
3. O guandu apresenta os teores mais elevados de lignina e maior razão lignina:N na parte aérea, que resulta em maior acúmulo de COP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; NETTO, J.M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC; São Paulo: Nobel, p.33-98, 1987.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALBUQUERQUE, A.W. de; SANTOS, J.R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L.S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.721-726, 2013.

ALVARENGA, R.A.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F. A. O. Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. 1. ed. Porto Alegre: **Genesis**, 216 p., 2006.

AMABILE, R.F.; CARVALHO, A.M de. Histórico da adubação verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 23 -40, 2006.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. Seção iv - fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:115-123, 2004.

AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E.A; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, G.M.B. Adubação verde na agricultura orgânica. In: LIMA FILHO, O.F.DE L.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. DF: Embrapa, v. 2, 478p., 2014.

ANDREOLA, F., & FERNANDES, S. A. P. F. F. A microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**, 21, 2007.

ASMUS, G. L.; RICHETTI, A. Milho e *Brachiaria ruziziensis* em rotação com a soja para manejo do nematoide reniforme. **Embrapa Agropecuária Oeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2016.

BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. Soil organic matter. In: SUMNER, M. E. (Eds.) **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, p. 25–84, 2000.

BARBER, R. G.; NAVARRO, F. Evaluation of the characteristics of 14 cover crops in a soil rehabilitation trial. **Land Degradation & Rehabilitation**, v. 5, n. 3, p. 201-214, 1994.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MATIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, 238, 133-140, 2002.

BAYER, C.; MATIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39, 677-683, 2004.

BRANCALIÃO, S.R.; MORAES, M.H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, pp. 393-404, 2008.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.D.; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, 30(2), 193-198, 2006.

BONFIM-SILVA, E.M.; GUIMARÃES, S.L.; DO NASCIMENTO FARIAS, L.; DE OLIVEIRA, J.R.; BOSA, C. K.; FONTENELLI, J. V. Adubação fosfatada no desenvolvimento e produção de feijão guandu em latossolo vermelho do cerrado em primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, 30(5), 2014.

BONGIOVANNI, M.D.; LOBARTINI, J.C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro and micro aggregates as affected by cultivation. **Geoderma**, 136, 660-665, 2006.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S. D.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E. D.; ALVES, M. C. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. **Ciência Rural**, 45(5), 799-805, 2015.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38: 143-153, 2003.

BURLE, M.L.; CARVALHO, A.M. de; AMABILE, R.F.; PEREIRA J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R.F. (ed). **Cerrado: adubação verde**, Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, p.71-142, 2006.

COBUCCI, T.; WRUCK, F. J.; KLUTHCOUSKI, J.; CAVALCANTE, L. M.; MARTHA JUNIOR, G. B.; CARNEVALLI, R. A.; TEIXEIRA, S. R.; POLINÁRIA, A.; TEIXEIRA, M. Opções de integração lavoura pecuária e alguns de seus aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**, v.28, p.64-79, 2007.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R. et al. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, p. 55-74, 2006.

CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O.F.DE L.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D.C. (ed). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. DF: Embrapa, v. 1, 507p., 2014.

CAMARGOS, L.S.; DE SÁ SOARES, C.R.; JUSTINO, G.C.; AGUIAR, L.F. Alocação de compostos nitrogenados de reserva durante a germinação de sementes de *Canavalia brasiliensis*. **Biotemas**, 26(4), 1-10, 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, 56, 777-783, 1992.

CANELLAS, L.P.; A.C.X.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, UENF. 287p., 2005.

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L. & MARTINETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:331-340, 2007.

CARVALHO, A.M.de; BUSTAMANTE, M.M.C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2831-2838, 2008.

CARVALHO, A.M.de; BUSTAMANTE, M.M.C.; ALCÂNTARA, F.A., RESCK, I.S.; LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research** 101, 100–107, 2009.

CARVALHO, A.M.de; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M. DE; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. 1ed. Brasília: Embrapa, v. 1, p. 143-170, 2006.

CARVALHO, A.M.de; BUSTAMANTE, M.M.C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2831-2838, 2008.

CARVALHO, A.M.de; COELHO, M.C.; DANTAS, R.A.; FONSECA, O.P.; JÚNIOR, R.G.; FIGUEIREDO, C.C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, 63(12), 1075-1081, 2012.

CARVALHO, A.M. de; PEREIRA, L.L.; ALVES, P.C.A.C.A.; JUNIOR GUIMARAES, R.; VIVALDI, L.J. Cover plants that present potential use in integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1200-1205, 2011.

CARVALHO, A.M. de; COELHO, C.M.; DANTAS, R.A de; FONSECA, O.P.; CARNEIRO, R. G.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop & Pasture Science** , v. 63, p. 1075-1081-1081, 2012.

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M.C da; ALMONDES, Z.A.P.do; FIGUEIREDO, C.C. de. Forms of phosphorus in an oxisol under different soil tillage systems and cover plants in rotation with maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 972-979, 2014.

CARVALHO, A.M.de; MIRANDA, J. C.C.; GEROSA, M.L.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q. Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Cerrado. In: LIMA FILHO, O.F. de L.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D.C. (ed). (Org.). **Adubação Verde E Plantas De Cobertura No Cerrado**. 01ed.Brasília: Embrapa, v. 02, p. 01-55, 2014.

CARVALHO, A.M. de; COSER, T.R.; REIN, T.A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K.W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(7), 551-561, 2015.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó (PA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:93-100, 1988.

COLLIER, L.S.; CASTRO, D.V.; DIAS NETO, J.J.; BRITO, D.R.; RIBEIRO, P.A. de A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, v.36, p.1100-1105, 2006.

COSTA, N.L., PAULINO, V.T. E MAGALHÃES, J.A. Produção de forragem, composição química e morfogênese de *Panicum maximum* cv. Vencedor sob diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Revista Científica de Produção Animal**, 8: 66-72, 2006.

COSTA, N.V.; DE ANDRADE, D.C.; DOURADO, R.F.; PAVAN, G. C.; DA COSTA, A.C.P.R. Dessecação da *Brachiaria ruziziensis* com paraquat antes da semeadura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 13(3), 235-244, 2014.

DA SILVA, T.C.; PERAZZO, A.F.; MACEDO, C.H.O.; BATISTA, E.D.; PINHO, R.M.A.; BEZERRA, H.F.C.; SANTOS, E.M. Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação nitrogenada. **Archivos de zootecnia**, 61(233), 91-102, 2012.

DABNEY, S.M.; DELGADO, J.A.; REEVES, D.W. Using winter cover crops to improve soil and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7-8, p. 1221-1250, 2001.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; DALMAGO, G.; SILVA JÚNIOR, J. P. Consórcio milho-braquiária como fator de intensificação de modelos de produção. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 11 p. Embrapa Trigo. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento online**, 78, 2011.

DE ANDRADE, J.B.; BENINTENDE, R.P.; JUNIOR, E.F.; HENRIQUE, V.T.P.W.; WENER, J.C.; DE MATTOS, H.B. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição da forragem de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 31(9), 617-620, 1996.

DIEKOW J, MIELNICZUK J, KNICKER H, BAYER C, DICK DP, KÖGEL-KNABNER I. Soil C e N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in the southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, 81:87-95, 2005.

DOS SANTOS, F.C.; KURIHARA, C.H.; DE RESENDE, Á.V.; ALVARENGA, R.C.; DE ALBUQUERQUE, M.R. Arranjo de Plantas de Braquiária em Consórcio com a Cultura do Milho, 2014.

DUARTE, I.B.; GALLO, A.S.; GOMES, M.S.; GUIMARÃES, N.F.; ROCHA, D.P.; SILVA, R.F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, 3, 150-165, 2014.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. D. Modifications in the population of spontaneous plants in the presence of green manure. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36(11), 1355-1362, 2001.

FEBRAPDP. FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução do plantio direto no Brasil. Disponível em <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto>> Acesso em: 15 abril de 2016.

FERREIRA, A.C.D.B.; Lamas, F.M. Espécies vegetais para cobertura do solo: influência sobre plantas daninhas e a produtividade do algodoeiro em sistema plantio direto. **Ceres**, 57(6), 2015.

FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G. & TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, 24:24-30, 2008.

FIGUEIREDO, C.C.D.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(3), 907-916. 2010.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO, M.A.C.; RAMOS, M.L.G.; SÁ, J.C.M. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, 51, 133-141, 2013.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41, 847-853, 2006.

FONTANA, P. Considerações sobre a dosagem do nitrogênio pelo método de Kjeldahl. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, 231:55- 63, 2001.

FRASIER, I.; QUIROGA, A.; NOELLEMAYER, E. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. **Science of The Total Environment**, 562, 628-639, 2016.

GIACOMINI, S.J.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura do solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GUERRA, J.G.M; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. O. Macromoléculas e Substâncias Húmicas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO,

F. A. O. (Ed.s) Fundamentos da Matéria orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole. 2. Ed. Ver. E atual. 654p., 2008.

HARTWIG, N.L.; AMMON, H.U. Cover crops and living mulches. **Weed science**, 50(6), 688-699, 2002.

HERMAN, W.A.; MCGILL, W.B.; DORMAAR, J.F. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. Canadian J. **Soil Science**, v. 57, p. 205-215, 1977.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 8:209-213, 1976.

KAUFMAN, R.C.; WILSON, J.D.; BEAN, S.R.; PRESLEY, D.R.; BLANCO-CANQUI, H.; MIKHA, M. Effect of nitrogen fertilization and cover cropping systems on sorghum grain characteristics. **Journal of agricultural and food chemistry**, 61(24), 5715-5719, 2013.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.D.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A. D. Química da madeira. Fupef, Curitiba, 2005

KONONOVA, M.M. Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, Oikostau, 364p, 1982.

KWONG, K.N.K.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, 102(1), 79-83, 1987.

LADONI, M., BASIR, A., ROBERTSON, P. G., & KRAVCHENKO, A. N. Scaling-up: cover crops differentially influence soil carbon in agricultural fields with diverse topography. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 225, 93-103, 2016.

LEMESSA, F.; WAKJIRA, M. Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, 18(2), 123-135, 2015.

LIMA, A.M.N., SILVA, I.D., NEVES, J.C.L., NOVAIS, R.D., BARROS, N.D., MENDONÇA, E. D. S.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(2), 1053-1063. 2008.

LIMA, J.E.; NASCENTE, A.S.; LEANDRO, W.M.; SILVEIRA, P.M.D. Urochloa ruziziensis responses to sources and doses of urea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 20(5), 401-407, 2016.

LIU, A.; MA, B.L.; BOMKE, A.A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, 69(6), 2041-2048, 2005.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10), 1269-1276, 2012.

MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, É.; PARIZ, C.M.; COSTA, C.; DA SILVEIRA, J.P.F. Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10), 1161-1169, 2012.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107 p. 2005.

MEYER, L.D.; DABNEY, S.M.; MURPHREE, C.E.; HARMON, W.C.; GRISSINGER, E.H. Crop production systems to control erosion and reduce runoff from upland silty soils. **Transactions of the ASAE**, 42(6), 1645, 1999.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. Ed. Atual. E ampl. Lavras: Editora UFLA. p. 729: il. 2006.

MOREIRA, S.G.; LUPP, R.M.; LIMA, C.G.; MARUCCI, R.C.; RESENDE, A.V.; BORGES, I.D. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 218-231, 2014

NAKHONE, L.N.; TABATABAI, M.A. Nitrogen mineralization of leguminous crops in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 171(2), 231-241, 2008.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis: Chemical methods. Madison, **Soil Science of America/American Society of Agronomy**, Part 3, p.961-1010, 1996.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E. de S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A.P. de. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1119-1129, 2007.

POWER, A.G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, 365(1554), 2959-2971, 2010.

PEARSON, R.G. Acids and Bases. **Science**, 151:172-177, 1966.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 200, 33-41, 2015.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(6), 1609-1623, 2007.

RAYOL, B.P.; ALVINO-RAYOL, F.D.O. Uso de feijão guandú (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) para adubação verde e manejo agroecológico de plantas espontâneas em reflorestamento no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 7(1), 104-110, 2012.

RECALDE, K.M.G.; CARNEIRO, L.F.; MOITINHO, M.R.; KANEKO, F.H.; CARNEIRO, D.N.M.; PADOVAN, M.P. Mandioca em Sucessão a Plantas de Cobertura sob Bases Agroecológicas no Mato Grosso do Sul. **Cadernos de Agroecologia**, 9(4), 2015.

RIBEIRO, P.H.; DOS SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C.A.D.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 6(1), 2011.

RIBAS, P.M. Sorgo: introdução e importância econômica. Embrapa Milho e Sorgo, 2003.

ROBERTSON, J.B. & VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H.P.T., THEANDER, O. (ed). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, p.123-158, 1981.

ROS C.O.; SALET R.L.; PORN R.L.; MACHADO J.N.C. Effects of fertilization methods on soil nitrogen availability for wheat and corn production, **Ciencia Rural**. 2003

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de Manejo e Matéria Orgânica do Solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (eds.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. p. 17-42, 2006.

ROSSI, C. Q., PEREIRA, M. G., GIÁCOMO, S. G., BETTA, M., & POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, 43(1), 38-46, 2011.

SÁ, M. A. C. de; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos S.; FRANZ, C. A. B. Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 53 p., 2009.

SALTON, J.C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., FABRÍCIO, A.C., MACEDO, M.C.M., & BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10), 1349-1356, 2011.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M., BROCH, D.L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul, 2005.

SANTOS, I.L.D.; CAIXETA, C.F.; SOUSA, A.A.T.C.D.; FIGUEIREDO, C. C., RAMOS, M. L. G. & CARVALHO, A. M. D. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38(6), 1874-1881, 2014.

SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, p.333-338, 2004.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa. 353p. 2013.

SARRANTONIO, M; GALLANDT, E. The role of cover crops in North American cropping systems. **Journal of Crop Production**, 8(1-2), 53-74, 2003.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.275-374, 2007.

SILVA, E.D.; AMBROSANO, E.; SCIVITTARO, W.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; CARVALHO, A. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: LIMA FILHO, O. F. DE L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. C. (ed). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 265-305. 2014

SILVA, T.O. da; FURTINI NETO, A.E.; CARNEIRO, L.F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVA, J.A.N.; SOUZA, C.M.A.; SILVA, C.J.; BOTTEGA, S.P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.769-775, 2012.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M.E.; ABRANTES, F.L.; BERTI, C.L.F.; SOUZA, L.C.D.; ARRUD, N. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Agrarian**. Dourados, v.7, n.24, p. 233-243, 2014.

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.477-486, 2006.

SILVA, E.C. DA. MURAOKA, T. BUZZETTI, S. VELOSO, M.E.C. TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (15 N) da crotalaria e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, 36: 739-746, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE. 236 p. 1988.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SNAP, S.M.; DELGADO, J.A.; REEVES, D.W. Using winter cover crops to improve soil and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.7-8, 2005.

SOUZA, R.F.D.; BRASIL, E.P.F.; FIGUEIREDO, C.C.D.; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(1), 222-231. 2015.

TEIXEIRA, R.A.; SOARES, T.G.; FERNANDES, A.R.; BRAZ, A. M. D. S. Grasses and legumes as cover crop in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazonica**, 44(4), 411-418, 2014.

VERAS, M.S.; RAMOS, M.L.G.; OLIVEIRA, D.N.S.; FIGUEIREDO, C.C.; CARVALHO, A.M.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K.W. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v. 40, 2016.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47: 1158-1165, 2012.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONCA, E.S.; ALVARENGA, R.C. Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 41, 1707–1722, 2010.

WHETTEN, R.; SEDEROFF, R. Lignin biosynthesis. **Plant Cell**, 7:1001-1013, 1995.

WUTKE, E.B.; TRANI, P.E.; AMBROSANO, E.J. et al. Adubação verde no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico. 89p. **Boletim Técnico**, 249, 2009

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso LIMA FILHO, O. F. DE L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D.C. (ed). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. p. 59-168, 2014.

ZAGONEL J.; VENANCIO W.S.; KUNZ R.P.; TANAMATI H. Nitrogen doses and plant densities with and without a growth regulator affecting wheat, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, 2002.

ZUAZO, V.H.D.; PLEGUEZUELO, C.R.R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. **Agronomy for sustainable development**, 28(1), 65-86, 2008.